

Semiconductor gas sensor based on a capacitive controlled field effect transistor (CCFET)**Publication number:** DE4333875**Publication date:** 1995-04-06**Inventor:** GERGINTSCHEW ZENKO DIPL ING (DE);
SCHIPANSKI DAGMAR (DE); KORNETZKY PETER
(DE)**Applicant:** GERGINTSCHEW ZENKO DIPL ING (DE);
SCHIPANSKI DAGMAR (DE); KORNETZKY PETER
(DE)**Classification:****- international:** **G01N27/00; G01N27/414; G01N27/00; G01N27/403;**
(IPC1-7): G01N27/414; H01L29/772**- european:** G01N27/00B1; G01N27/414**Application number:** DE19934333875 19931005**Priority number(s):** DE19934333875 19931005**Report a data error here****Abstract of DE4333875**

A semiconductor gas sensor, consisting of a field-effect transistor, the control and reference electrodes of which are lengthened and coupled to a capacitor arrangement which contains an air gap, is described. A gas-sensitive layer is arranged in the air gap. The transistor and the air gap are spatially separated from each other. It is possible to take gas measurements without gas diffusion through the gate electrode via the air gap and, by virtue of the separation of the air gap and the transistor, negative influences of the air gap on the drift behaviour and the lifetime of the sensor are eliminated. A monolithically integratable (monolithic integrated) and a hybrid design of the sensor are presented as exemplary embodiments.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

1B4.5

consumption $< 1 \mu\text{W}$ and the possibility to compensate drift effects.

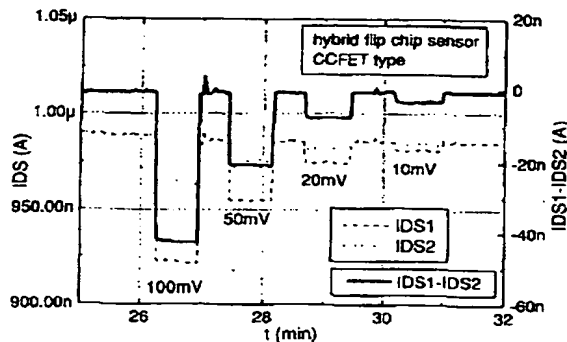


Figure 11. Dependency of the source-drain current IDS on UGATE pulses of 100/50/20/10 mV over time. IDS1 and IDS2 represent two CCFET channels. The straight line shows the difference IDS1-IDS2.

The performance as gas sensor is compared to work function measurements with a Kelvin probe (fig. 12). Both, signal height and kinetic for the tested gases CO_2 and NO_2 are comparable for the two different readout techniques.

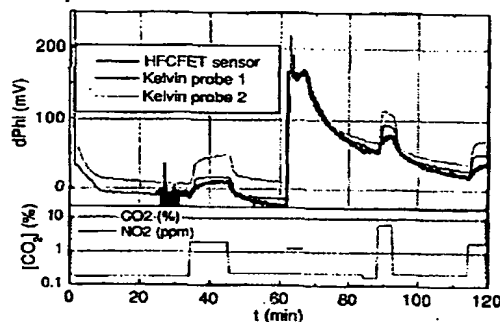


Figure 12. Comparison of the gas signal of a CCFET type HFCFET with a Kelvin probe measurement.

CONCLUSION

With the FET transducers fabricated in a standard CMOS process and the hybrid flip chip setup presented in this work a flexible platform for the realization of low power gas sensors is available. Both, CCFET and SGFET type sensors are design in a way that the operation point can be set using the well contact of the transistor. Therefore also transducers with enhancement characteristic can be used. Temperature drift is very effectively suppressed by setting the transducers in the isothermal operation point. In this way a sensor can be operated without temperature stabilization and a power consumption of $< 1\text{mW}$. Integration of on-chip signal conditioning is

realized and will be reported on the conference. First gas measurements show a good comparability to Kelvin probe signals used for characterization of sensitive films.

REFERENCES

- [1] M. Fleischer, B. Ostrick, R. Pohle, E. Simon, H. Meixner, C. Bilger, F. Daeche, "Low-power gas sensors based on work function measurement in low-cost hybrid flip-chip technology", *Sensors and Actuators B* 80 (2001) 169-173
- [2] I. Eisele, T. Doll, M. Burgmair, "Low power gas detection with FET sensors", *Sensors and Actuators B* 78 (2001) 19-25
- [3] Z. Gergintschew, P. Kornetzky, D. Schipansky, "The capacitively controlled field effect transistor (CCFET) as a new low power gas sensor", *Sensors and Actuators B* 35-36 (1996) 285-289
- [4] M. Madou, S.R. Morrison, *CHEMICAL SENSING WITH SOLID STATE DEVICES*; Academic Press, Academic Pr., San Diego, 1989
- [5] I. Lundström, M.S. Shivaraman, C.M. Svenson, *Journal of Applied Physics*, 46 (1975) 3376
- [6] Blackburn, G.F., M. Levy, and J. Janata, *Appl. Phys. Lett.* 43(7) (1983) 700-701
- [7] B. Flietner, T. Doll, J. Lechner, M. Leu, I. Eisele, *Sensors and Actuators B*, 22 (1994), 109-113
- [8] T. Doll, A. Neubecker, I. Eisele, D. Mutschall, E. Obermeier, Design of Metal Oxide Layers for Workfunction and Conductivity Sensors, *Proc. International meeting on Chemical Sensors* (1996)
- [9] Z. Gergintschew, P. Kornetzky, D. Schipansky, I. Eisele, *Sensors and Actuators B* 35 (1996) 285-289



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 43 33 875 C 2

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 N 27/414
H 01 L 29/772

②1 Aktenzeichen: P 43 33 875.5-52
②2 Anmeldetag: 5. 10. 93
④3 Offenlegungstag: 6. 4. 95
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 8. 95

DE 4333875 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Gergintschew, Zenko, Dipl.-Ing., 98693 Ilmenau, DE;
Schipanski, Dagmar, 98693 Ilmenau, DE; Kornetzky,
Peter, 98693 Ilmenau, DE

⑦2 Erfinder:

gleich Patentinhaber

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 38 34 189 C1
DE 38 07 603 C1
DE 42 39 319 A1
US 44 11 741
JP 01-2 13 563 A
Sensors and Actuators B (1981), S.403-426;

⑤4 Halbleiter-Gassensor auf der Basis eines Kapazitiv Gesteuerten Feldeffekttransistors (Capacitive Controlled Field Effect Transistor, CCFET)

DE 4333875 C 2

Die Erfindung betrifft einen Gassensor auf Halbleiterbasis, der aus einem Feldeffekttransistor und einer mit ihm gekoppelten Luftkapazität besteht. Halbleiter-Gassensoren unter Ausnutzung des Feldeffektes sind bekannt aus mehreren Patentschriften und Veröffentlichungen. So wurde von Lundström in *Sensors and Actuators B* (1981) S. 403—426 ein Pd-Gate-FET, der auf Wasserstoff und Wasserstoffverbindungen reagiert, vorgestellt. Die Wirkungsweise dieses Sensors und vieler nachfolgender Modifikationen (z. B. Patentschrift JP 1213563 A) besteht darin, daß abgespaltene oder aus der Umgebung adsorbierte Wasserstoffatome an die Gate/Gateisolator-Zwischenfläche gelangen, dort polarisiert werden und zu einer Änderung der Schwellspannung des Transistors führen. Nachteilig wirkt sich dabei die Tatsache aus, daß, um an diese Zwischenfläche zu gelangen, die Wasserstoffatome durch das Pd-Gate diffundieren müssen. Das erhöht wesentlich die Ansprech- und Relaxationszeiten des Sensors und die angezeigte Gaskonzentration entspricht nur mittelbar der tatsächlichen. In den Patentschriften US 4411741, DE 38 34 189, DE 38 07 603 und im Prüfungsantrag Nr.: P 4239319.1—52 sind Gassensoren vorgestellt, die dieses Problem durch das Anbringen eines Luftspaltes unter der Gateelektrode im Gateisolatorsystem des Transistors lösen. So wird das Sensorsignal durch Adsorption an der Oberfläche gewonnen. Es können verschiedene Gase mit den entsprechenden sensitiven Schichten detektiert werden ohne die beschränkenden Bedingungen der Gaslöslichkeit in den Schichten. Die Anwesenheit des Luftspaltes im Gatesystem des FET führt aber zu mehreren negativen Erscheinungen, die das Driftverhalten des Sensors verschlechtern und seine Lebensdauer verkürzen:

- Durch den Luftspalt ist der FET direkt den Umgebungseinflüssen ausgesetzt.
- Das Weite : Länge-Verhältnis ($W : L$) des FET ist von den lateralen Dimensionen des Luftspaltes abhängig und so durch die technologischen Möglichkeiten seiner Herstellung beschränkt.
- Die geringe Gatekapazität ($\epsilon_{r\text{Luft}} = 1$) und das kleine $W : L$ -Verhältnis bedingen ein kleines Stromvermögen des Transistors und so ein ungünstiges Signal-Drift-Verhältnis.
- Der Luftspalt und so alle adsorbierten Ladungen befinden sich in den elektrischen Feldern des Transistors und können umgruppiert werden, was auch zu einer Drift führt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Halbleiter-Gassensor anzugeben, bei welchem die Anwesenheit eines Luftspaltes schnelle und genaue Messungen ermöglicht und gleichzeitig die oben aufgezählten negativen Einflüsse auf die Stabilität und die Lebensdauer des Sensors aufhebt.

Diese Aufgabe wird durch einen Halbleiter-Gassensor gelöst, bei dem der auswertende FET und der Luftspalt mit der gasempfindlichen Schicht räumlich voneinander getrennt aber gleichzeitig elektrisch gekoppelt sind. Diese Kopplung wird realisiert durch die Verlängerung der Steuer- und der Bezugselektrode des Transistors (z. B. Gate und Source), so daß sie die zwei Elektroden eines Luftkondensators bilden. Die gasempfindliche Schicht bedeckt eine der beiden Elektroden. Mittels Guardtechnik werden die Auswirkungen von parasitä-

ren Kapazitäten sowie von Kriechströmen minimiert. Die lateralen Dimensionen des Luftspaltes sind von den technologischen Möglichkeiten begrenzt. Zur Vergrößerung der Luftkapazität können bei einem erfindungsgemäßen Sensor mehrere parallel geschaltete Luftkondensatoren angeordnet werden, um eine bessere Kopplung zu erreichen.

Der Sensor kann mit Standardverfahren der Mikroelektronik hergestellt und zusammen mit anderen Sensoren und signalverarbeitenden Schaltungen integriert werden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem monolithisch integrierbaren Sensor wird in der Fig. 1 dargestellt und im folgenden beschrieben.

Fig. 1 Aufbau eines monolithisch integrierbaren Halbleiter-Gassensors gemäß der Erfindung.

Der in der Fig. 1 dargestellte Sensor besteht aus einem Feldeffekttransistor, realisiert in einem Substrat (1) aus p-Silizium. Das Source (2) und das Drain (3) sind n^+ -dotiert. Die Gateelektrode (4) und das Source (2) des Transistors sind verlängert und über einen Luftspalt (5) miteinander kapazitiv gekoppelt. Über dem Luftspalt (5) befindet sich eine gasempfindliche Schicht (6). Die Gateelektrode (4) und der Luftspalt sind vom Silizium durch eine Isolatorschicht (7) getrennt. Die Gateelektrode (4) ist umrahmt mit einem Guardring (8) und unter der Gateauflage befindet sich im Substrat ein n^+ -Gebiet (9).

Ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem hybriden Aufbau des Kondensatorteils wird in der Fig. 2 dargestellt.

Fig. 2 Aufbau eines hybriden Halbleiter-Gassensors gemäß der Erfindung.

Der in der Fig. 2 dargestellte Sensor besteht ebenso aus einem Feldeffekttransistor, realisiert in einem p-Si Substrat (10). (11) und (12) sind die n^+ -dotierten Source- und Draingebiete. Die Poly-Si Gateelektrode (13) wird verlängert und bildet die untere Elektrode (14) des Kondensatorteils. Die floatende Gateelektrode wird von einem Guardring (15) umgeben. Die Wirkung der parasitären Kapazität der Gateelektrode gegenüber Substrat wird durch ein n -Gebiet (16) verringert, dessen Potential geeignet nachgeführt wird. Durch Ausnutzung der technologisch bedingten Höhenunterschiede z. B. in der Isolatorschicht (17) und Aufbringen einer Deckelektrode (18) über der verlängerten Gateelektrode (14) entsteht der koppelnde Kondensator mit dem Luftspalt (19). Die gasempfindliche Schicht (20) kann an der unteren Seite der Deckelektrode (18) oder über der verlängerten Gateelektrode (14) angebracht werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Substrat aus p-Silizium
- 2 n^+ -Source
- 3 n^+ -Drain
- 4 Gateelektrode
- 5 Luftspalt
- 6 gasempfindliche Schicht
- 7 Isolator
- 8 Guardring
- 9 n^+ -Gebiet
- 10 Substrat aus p-Silizium
- 11 n^+ -Source
- 12 n^+ -Drain
- 13 Poly-Silizium Gateelektrode
- 14 verlängerte Gateelektrode
- 15 Guardring

16 n-Wanne
 17 Isolator
 18 Deckelektrode
 19 Luftspalt
 20 gasempfindliche Schicht

5

Patentansprüche

1. Halbleiter-Gassensor auf der Basis eines kapazitiv gesteuerten Feldeffekttransistors (Capacitive Controlled Fieldeffect Transistor: CCFET), dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Halbleiter-substrat ein Feldeffekttransistor und ein Kondensator mit Luftspalt räumlich voneinander getrennt angeordnet sind, wobei die Steuerelektrode (Gate) und die Bezugselektrode (Source) des Transistors durch elektrische Verbindung mit den Platten des Kondensators kapazitiv gekoppelt sind. 10
2. Gassensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gateelektrode des Feldeffekttransistors und die mit ihr verbundene Elektrode des Kondensators elektrisch floatend sind. 15
3. Gassensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftspalt durch eine oder mehrere gasempfindliche Schichten begrenzt wird, die mit einer Änderung ihrer Austrittsarbeit auf Gaseinwirkungen reagieren. 20
4. Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der koppelnde Kondensator aus mehreren parallel geschalteten Kondensatoren mit Luftspalt besteht. 25
5. Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Gateelektrode und die mit ihr elektrisch verbundenen Teile durch einen Guardring mit geeignetem Potential vor Aufladung durch Kriechströme geschützt werden. 30
6. Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß unter den Gebieten in denen die Gateelektrode ohne Luftspalt direkt auf dem Substrat aufliegt, für eine Minimierung des Einflusses parasitärer Kapazitäten im Substrat Gebiete mit umgekehrter Dotierung ausgebildet sind, die mit einem geeigneten Potential versehen werden werden. 35
7. Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Kondensator hybrid aufgebaut ist, indem im Substrat über der einen Elektrode des Kondensators durch entsprechende Strukturierung der technologischen Schichten ein Relief ausgebildet ist und die Gegenelektrode des Kondensators min Verfahren der hybriden Technik nachträglich angebracht wurde, oder der gesamte Kondensator separat hybrid hergestellt und mit den entsprechenden Elektroden des Feldeffekttransistors verbunden ist. 40
8. Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß er vollständig oder teilweise mit einem Standardverfahren der Mikroelektronik hergestellt und zusammen mit anderen Sensoren und signalverarbeitenden Schaltungen integrierbar ist. 45

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

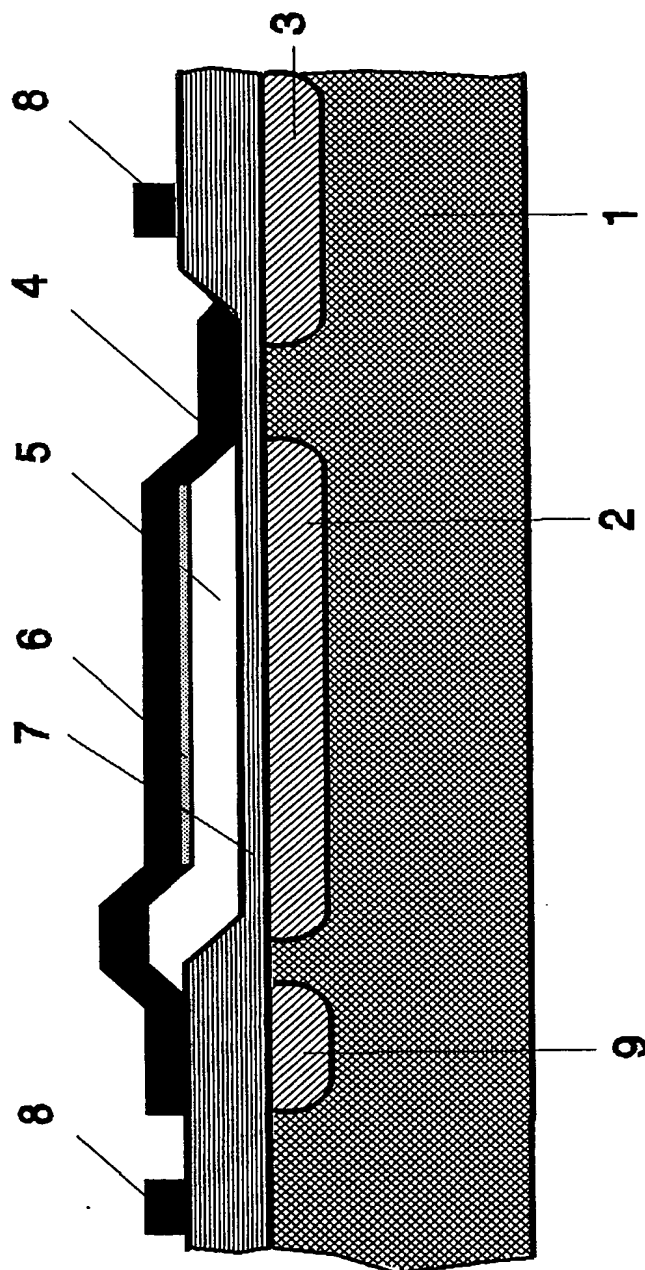


Fig.1

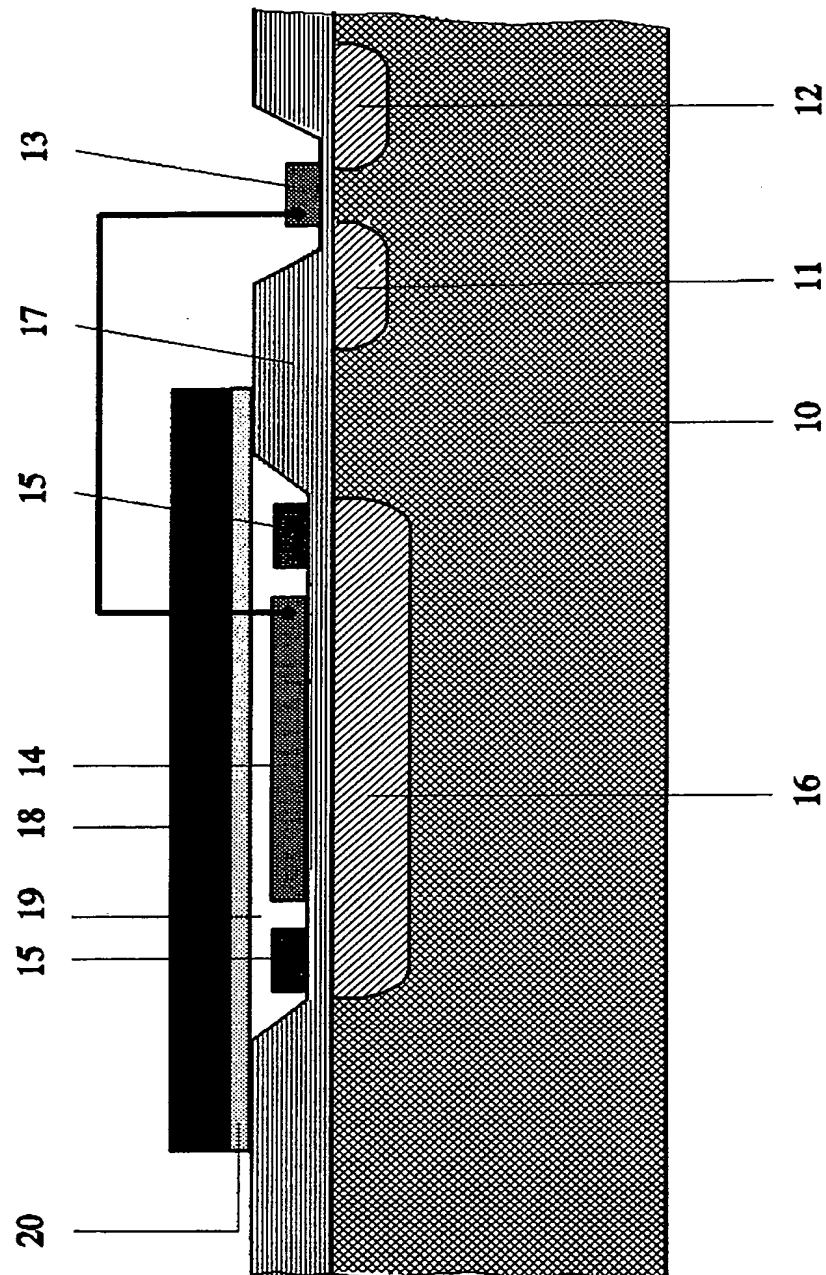


Fig. 2